

Early Medieval Tesserae in Northwestern Europe

L. Van Wersch / L. Verslype / D. Strivay / F. Theuws
Editors

with contributions by

S. Balcon-Berry, B. Bertholon, M. Bonnin,
P. Degryse, C. Fontaine-Hodiamont, J. Henderson,
A. Kronz, F. Mathis, E. Neri, B. Neuray, T. Panhuysen,
S. Ristow, Y. Sablerolles, C. Sapin, K. Simon, T. Sode,
D. Strivay, F. Theuws, L. Van Wersch,
L. Verslype, A. Wilkin, H. Wouters



Habelt-Verlag | Bonn
Bonn 2019

Merovingian Archaeology in the Low Countries 6

Series editor: F. Theuws (Leiden University)

The research project was financed by:

Université catholique de Louvain, Incal, Cran

Université de Liège, UR AAP

University of Leiden, ERC Rural Riches

FRS-F.N.R.S.

PAI Cores/belspo

AWAP, Institut du patrimoine Wallon



Graphic design: Bregt Balk

Lay out: Luran Blommers

English revisions: Sue Maas

French revisions: Veronique Jonet

Printing: druckhaus köthen GmbH & Co. KG | www.koethen.de

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie. Detailliertere bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2019 by Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung und die Speicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

ISBN 978-3-7749-4203-5

Inhoud/Contents

Preface	p. 6
Authors	p. 7
1 Early medieval tesserae in northwestern Europe (6th-10th century): material, techniques and exchanges. An introduction to the workshop <i>L. Van Wersch / L. Verslype / P. Degryse</i>	p. 8
2 Le travail et commerce du verre au haut Moyen Age, un révélateur pour l'histoire économique? <i>A. Wilkin</i>	p. 14
3 Décor pariétal et matériaux dans l'architecture de l'Antiquité tardive et du haut Moyen Âge <i>C. Sapin</i>	p. 26
4 La production des tesselles dorées (VIe-IXe siècle). Cas d'étude des tesselles en vrac de Hiérapolis, Damas et Aix-la-Chapelle <i>E. Neri</i>	p. 30
5 Le décor mural de Notre-Dame-de-la-Place à Bordeaux au VIe siècle : l'enjeu analytique des mosaïques et de leurs supports <i>B. Bertholon</i>	p. 40
6 Les tesselles de verre découvertes sur le groupe épiscopal et canonial d'Autun <i>S. Balcon-Berry / L. Van Wersch / M. Bonnin / F. Mathis / D. Strivay</i>	p. 50
7 Tesserae from Saint-Clément in Mâcon <i>L. Van Wersch / F. Mathis / M. Bonnin / D. Strivay / Chr. Sapin</i>	p. 58
8 Early medieval tesserae from Scandinavia and the Netherlands: a case for recycling <i>J. Henderson / T. Sode / Y. Sablerolles</i>	p. 68
9 The early medieval tesserae from the St-Servatius Church excavations in Maastricht (The Netherlands) and their chemical composition <i>T. Panhuysen / A. Kronz / K. Simon / L. Van Wersch</i>	p. 96
10 Les tesselles du haut Moyen Âge de l'abbaye de Stavelot. <i>Early medieval tesserae from the Stavelot abbey</i> <i>B. Neuray / C. Fontaine-Hodiamont / H. Wouters</i>	p. 110
11 Aachen as a production centre for mosaic tessellae in Carolingian times? <i>S. Ristow</i>	p. 124
12 Conclusion, tesserae from a northern point of view <i>D. Strivay / L. Van Wersch / F. Theuws</i>	p. 128
Bibliography	p. 131

Preface and acknowledgements

This meeting was organised in the framework of a research on early medieval architectural glass, that began at University of Burgundy and continued at the catholic University of Louvain and the FRS-F.N.R.S. It offered an opportunity to meet several scholars working on the same topic in several countries in north-western Europe. The early medieval mosaic tesserae from the Carolingian empire lie at the heart of very recent research projects carried out in France, the Netherlands and Germany. It was therefore pertinent to compare the results of these archaeological and archaeometrical studies.

The meeting was hosted at La Paix-Dieu Abbey by the former Institut du patrimoine wallon, currently AWaP (Agence wallone du Patrimoine). It has been financed by the Universities of Louvain and Liège as well as by the FRS-F.N.R.S. The organisation committee warmly thanks our sponsors as well as the authors who made this meeting and its discussions very fruitful. Finally, we would like to thank sincerely the anonymous reviewers for their wise comments and advices.

Authors

Sylvie Balcon-Berry	Université Paris-Sorbonne, Paris IV (Centre André Chastel, laboratoire de Recherche en Histoire de l'Art)
Bénédicte Bertholon	Université de Poitiers, Centre d'études médiévales d'Auxerre
Myrtho Bonnin	Université de Bordeaux (IRAMAT)
Patrick Degryse	KU Leuven (Faculty of Science, Division of Geology)
Chantal Fontaine-Hodiamont	KIK/IRPA (atelier verre)
Julian Henderson	University of Nottingham (Department of archaeology)
Andreas Kronz	Georg-August-Universität Göttingen, (Department of Geochemistry)
François Mathis	Recherche et Prospections Archéologiques Asbl
Elisabetta Neri	CNRS UMR 8167, Monde byzantin – Antiquité Tardive
Brigitte Neuray	Agence wallonne du Patrimoine
Titus Panhuysen	Universiteit van Amsterdam
Sebastian Ristow	Universität zu Köln, (Philosophische Fakultät, Archäologisches Institut)
Yvette Sablerolles	University of Nottingham (Department of archaeology)
Christian Sapin	CNRS, Université de Dijon, UMR Artehis, Centre d'études médiévales d'Auxerre
Klaus Simon	Georg-August-Universität Göttingen (Department of Geochemistry)
Torben Sode	Højstrupvej 71 DK-2700 Brønshøj
David Strivay	Université de Liège (UR Art, Archéologie, Patrimoine)
Frans Theuws	University of Leiden (Faculty of Archaeology, ERC Rural Riches project)
Line Van Wersch	Université de Liège (UR Art, Archéologie, Patrimoine, ERC Rural Riches project)
Laurent Verslype	Université catholique de Louvain, (Faculté de Philosophie et Lettres, Institut Incal, Centre de recherches CRAN)
Alexis Wilkin	Université libre de Bruxelles (Faculté de Philosophie et Sciences Sociales, Unité de Recherche Sociamm (Sociétés anciennes, médiévales et modernes)
Helena Wouters	KIK/IRPA (laboratoire des verres)

4 La production des tesselles dorées (VIe-IXe siècle). Cas d'étude des tesselles en vrac de Hiérapolis, Damas et Aix-la-Chapelle

Elisabetta Neri¹

Le traité technique du *De diversis artibus* de Théophile (fin du XIe-début XIIe siècle) présente les tesselles à feuille d'or parmi les produits les plus luxueux du monde byzantin, dont la technique de production est méconnue à l'auteur d'origine allemande, bien qu'expert des techniques du verre.² Pendant le XIe-XIIe siècle d'après les sources les tesselles n'étaient produites qu'à Byzance et étaient précieuses au point d'être une partie du butin de guerre des croisades.³ L'attestation la plus tardive dans la littérature technique occidentale, qui pourrait témoigner de la permanence d'un savoir-faire local, est offerte par le *Manuscrit de Lucques*, traité technique de tradition byzantine et hellénistique rédigé à la fin du VIIIe siècle.⁴

Toutefois, même pendant l'Antiquité tardive et le haut Moyen Âge, les tesselles à feuille d'or sont des matériaux de la mosaïque luxueux et singuliers, utilisés dans les sols et dans les parois, dont le potentiel informatif n'a pas été vraiment exploité.

Cet article vise à dresser l'état de la question sur le sujet de façon synthétique, dans un premier temps en reprenant les données analytiques publiées en collaboration avec M. Verità,⁵ et dans un deuxième temps en présentant de façon préliminaire trois cas d'études qui couvrent la chronologie du VIe-IXe siècle et

intéressent l'empire byzantin (l'église de St. Philippe à Hiérapolis), le califat omeyyade (la mosquée des omeyyades à Damas) et l'empire carolingien (l'église d'Aix la Chapelle). Ces ensembles ont été étudiés dans le cadre d'un large projet qui intéresse les tesselles d'or de la Méditerranée orientale et de l'Europe occidentale, datées entre IVe et IXe siècle⁶. Le but principal est de connaître la technologie et la provenance du verre et de l'or et de vérifier la relation entre or monétaire et or employé pour produire les feuilles des tesselles.

Status quaestionis

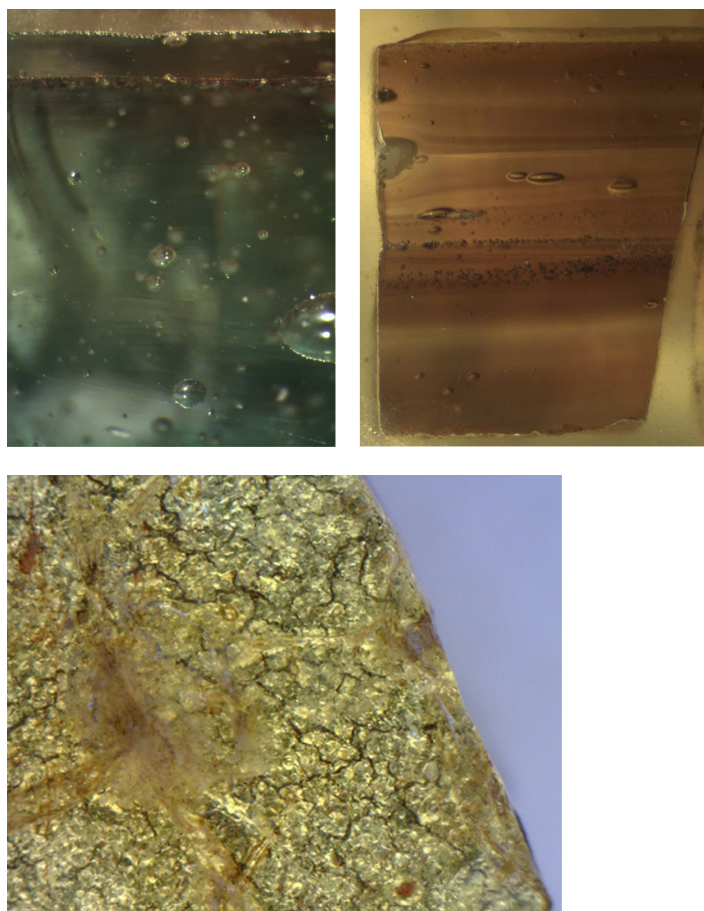
Les matériaux: caractéristiques et premières attestations

Les tesselles à feuille d'or sont des matériaux composites, constituées de trois couches fixées à chaud : la feuille d'or très mince (<1 µm) est renfermée entre la couverte, une couche en verre soufflé (<1mm) et le support en verre coulé (<1cm).⁷

Les couleurs du verre du support peuvent être très différentes (fig. 1a). Les tonalités jaune, vert, bleu-vert sont appelées tonalités naturelles, parce qu'elles sont produites par la présence du fer dans

(1) Ce travail a été présenté pendant mon Post-doc Convergence, Sorbonne Universités, UPMC Univ. Paris 06, UMR 8233, MONARIS/ Univ. Paris 04, UMR 8167, Orient & Méditerranée, Centre Byzantin, financé par le projet ORLUCE. (2) Les chapitres II, 13-16 décrivent, de façon invraisemblable, la fabrication des objets définis «grecs», importé de Byzance. Au chapitre 15 en particulier la production de la mosaïque à feuille d'or (*vitrum graecum*) est abordée. Pour une discussion dans le détail voir Neri 2012 et Neri 2013 où on suppose que l'auteur déduit les techniques à partir de l'observation des objets. Il s'agirait donc d'objet importé de Byzance et non produits dans le milieu culturel de l'auteur, la région du Rhin entre la fin XI et le début XIIe siècle. (3) Voir Neri 2012. Parmi les sources qui soulignent la dépendance de l'Occident de Byzance on peut rappeler le Chronicon de Montecassin (*Chronicon Monasterii Casinensis*, p. 396): 'Legatos interea Constantinopolium ad locandos artifices destinatos peritos utique in artibus emusivaria et quadrataria, ex quibus videlicet alii ansidam et arcum atque vestibulum maioris basilice musivo comerent, alii vero totius ecclesie pavementum diversorum varietate consternerent' (...) Et quoniam artium istarum ingenium a quingentis et ultra iam annis magistra Latinitas intermiserant et studio huius inspirante et cooperante Deo nostro hoc tempore recuperare promeruit, ne sane id ultra Itale deperiret, studuit vit totius prudentie plerosque de monasterii peris diligenter eisdem artibus erudiri. Non autem, de his tantum, sed et de omnibus artificibus, quaecumque ex auro vel argento, ere, vitro, ebore, linga, gipso vel lapidi patrari possunt, studiosissimus prorsus artifices de suis sibi paravit' (...) 'Parietes quoque omnes pulchra satis colorum omnium varietate depinxit'. Pour les tesselles comme butin de guerre des croisades aux références citées dans Andreescu 1977 et Burgarella 2012, on peut ajouter Bibl. Naz. Marciana, Cronica. Magn., Parte 5, It. Cl. 7, Cod. 517, c 67t. (4) Neri/Verità 2013. (5) Programme CHARISMA, projet AGLAOS (Analysis of ancient gold leafs and coins) (direction Neri, E., avec la collaboration de M. Guerra/I. Biron/M. Verità), analyses réalisées au C2RMF. Je remercie tous les membres de ce projet, qui ont participé, avec enthousiasme à cette recherche. Leur compétence et leur générosité a été nécessaire pour ma formation.

Fig. 1
En haut : coupes de tesselles à feuille d'or avec différents types de verre de support (transparent, bleu-vert, brun). En bas : feuille d'or et transparent.



le sable utilisé pour produire le verre. La quantité de fer, joint à la température et l'atmosphère de cuisson de la matrice vitreuse, diversifie les tonalités des colorations. Ces colorations peuvent être atténuées grâce à l'ajout intentionnel d'antimoine (Sb_2O_3) ou de manganèse (MnO). Des nuances plus foncées sont obtenues par l'addition du fer ($\text{Fe}_2\text{O}_3 > 1\%$, du vert foncé au noir) ou du manganèse (MnO entre 2.90-6.00% du violet au noir). Couverte et support sont souvent réalisés avec le même verre, identique au niveau compositionnel, mais plus pur pour la couverte.⁸ La feuille,

très mince et souvent avec des fractures, laisse passer la lumière du verre du support. La couleur de l'or est définie par la couleur du verre (du support et de la couverte) et de l'alliage de l'or (fig. 1b).

La première attestation des tesselles à feuille d'or remonte au I^{er} siècle après J.-C., dans le Nymphée de Lucullus à Rome.⁹ Entre le II^e et le IV^e siècle une utilisation ponctuelle dans les parois et les sols en est documentée.¹⁰ D'après les sources écrites l'âge constantinien marque une utilisation plus extensive des tesselles dans le fond des décorations.¹¹ A partir de cette époque, la quantité d'or en circulation doit graduellement augmenter, parce qu'à partir de la réforme de Constantin le nominal d'or, le *solidus*, devient la monnaie de référence, en prenant la place du nominal en argent.¹² Toutefois les plus anciens fonds d'or conservés remontent au Ve-VI^e siècle, dans les églises de Ravenne et de Thessalonique dans les mosaïques.¹³

Une catégorie à part est représentée par les tesselles avec un verre de support rouge opaque, dont les attestations les plus anciennes sont haut-médiévales : dans le monde byzantin la Panagia Chanakaria à Chypre (VII^e siècle),¹⁴ dans l'Europe occidentale Aix-la-Chapelle (IX^e siècle), dans le monde islamique la mosquée de Samarra (IX^e siècle).¹⁵ Les mosaïques italiennes plus anciennes qui ont cette typologie des matériaux sont celles de St. Clément à Rome¹⁶ et de Monreale (fig. 2).¹⁷

La production

L'hypothèse de l'utilisation de l'or monétaire

Les galettes à feuille d'or servant à la taille de tesselles, datées entre IV et XII^e siècle¹⁸ (fig. 3), sont connues depuis longtemps et témoignent d'une production *ex novo* des tesselles dorées. La localisation des ateliers de production de ces demi-produits pour la mosaïque demeure toutefois largement méconnue, parce que les fouilles archéologiques n'ont pas restitué, à ce jour, de vestiges d'atelier spécifique pour la production des galettes. De plus les groupes de verre reconnus via les analyses archéométriques tracent la route du verre brut et ne permettent pas de localiser les ateliers de production du verre secondaire, ni de tracer la route d'approvisionnement des matériaux.¹⁹ D'autre part le changement technologique dans la production entre verre romain et verre médiéval

(6) Les données sur les tesselles byzantines ont été publiées dans Neri et al. 2016. Une synthèse sur les sources de l'or dans la mosaïque médiévale est sous presse Neri sous presse. (7) Les mesures ici présentées sont basées sur l'observation directe des tesselles, datées entre IV^e et XII^e siècle, provenant des sites orientaux et occidentaux; en Italie: Milan, Mausolée impérial (IV^e siècle ?), St. Laurent (Ve siècle), St. Jean (Ve-VI^e siècle), St. Ambroise (Ve-XII^e siècle); Aquileia (II^e-Ve siècle); Venezia, San Marco (XII^e siècle), Rome, Ste Pudentielle (IV^e siècle), St. Laurent (Ve siècle), St. Etienne (VII^e siècle), SS. Come et Damien (Ve et VII^e siècle), S. Cécile (VIII^e siècle); à Ravenne, baptistère Néonien (Ve siècle), St. Vital (Ve siècle), St. Apollinaire le Neuf (Ve et VI^e siècle); en France Arles, St. Césaire, Saint-Sever (V siècle ?), Rodez, Saint Pierre la doré et d'autres sites (VII^e siècle ?), Nevers, baptistère (VI^e siècle); en Albanie, Elbasan (VI^e siècle), Lin (VI^e siècle), Durrës (VII^e siècle ?); en Turquie Hierapolis (VI-IX^e siècle); en Syrie, Damas (VIII^e siècle); en Palestine Bethlehem église de la nativité et chantier al-Bad (XII^e siècle) et Jérusalem, Mt. des Oliviers (VI^e siècle ?); en Jordanie, Mt. Nébo (VII^e siècle ?). (8) Pour les analyses compositionnelles des verres à feuille d'or voir Neri/Verità 2013 et Neri et al. 2016. (9) Bartoli et al. 2013; Boschetti 2012. (10) Brenk 1972; Scheibelreiter 2009; Lancha 1981; Lancha 1983; catalogue dans Neri 2016. (11) Neri in prep.; Pedone/Guidobaldi 2014; Neri 2016, 87-93; on rappelle surtout les passages concernant l'église du Saint-Sépulcre et de l'église d'Antioche (Eusebii, *Vita Constantini*, III, 30-33; III, 50). (12) Carlà 2009. L'augmentation de la quantité de l'or en circulation est débattue. (13) L'existence d'un fond d'or dans le mausolée de Centcelles (âge constantinien) reste hypothétique à cause de l'état de conservation du bâtiment (Arce 2002). Pour la rotonde de Thessalonique Bakirtzis/Mastora 2013 suppose une chronologie constantinienne. (14) Il s'agit d'une observation autoptique sur les pièces actuellement conservées au Musée d'art byzantin de Chypre. (15) Il s'agit d'une observation autoptique sur les pièces actuellement conservées au Musée du Louvre, Département d'arts islamiques. (16) Basile 2000. (17) Verità/Rapisarda 2008. (18) Foy 2007; Foy 2008; Neri/Verità 2012.

Fig. 2
Coupes de tesselle d'Aix-la-Chapelle avec support en verre rouge opaque.

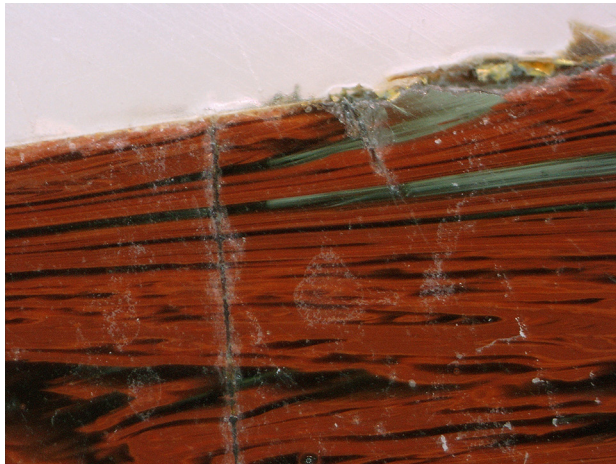
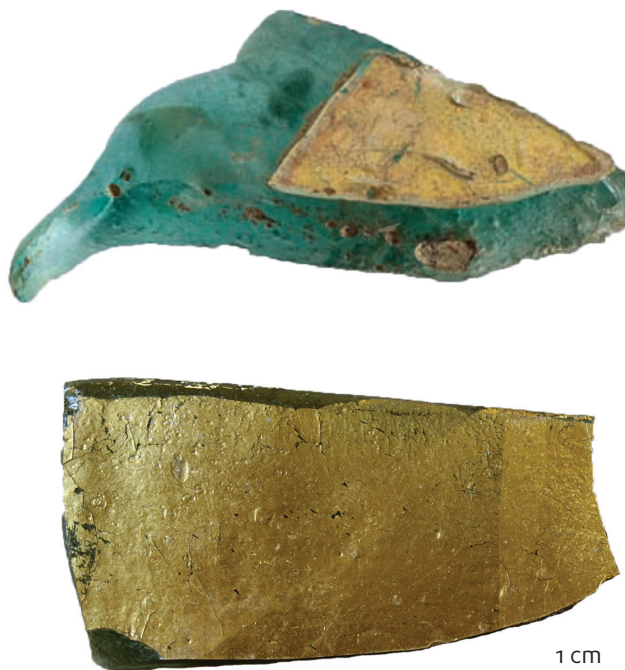


Fig. 3
Fragments des galettes à feuille d'or. A) Aquilée, IVe siècle; B) Venise, XIIe siècle.



sont de plus en plus précisés, mais offrent des fourchettes chronologiques toujours étendues sur plusieurs siècles.²⁰

En outre, pour les tesselles de l'Antiquité tardive et du haut Moyen Âge, l'impact du remploi et son rapport avec la nouvelle production attestée aussi par les sources normatives qui s'attachaient à limiter cette pratique (tableau 1), est à considérer, comme l'impact du recyclage par rapport à l'utilisation du verre brut.

Toutefois, en évaluant les attestations en couches archéologiques des tesselles en vrac et les décors conservés, la production des tesselles à feuille d'or est limitée à des petites quantités jusqu'au IVe-Ve siècle et bien plus importante après. Il n'existait pas donc des matériaux suffisants à piller pour accomplir les décorations haut-médiévales et protobyzantines: une nouvelle production était nécessaire.

L'analyse de l'or dans les verres dorés peut offrir des informations complémentaires sur les lieux de production et sur la chronologie.

La source de l'or des feuilles employées dans les tesselles était probablement l'or monétaire pour des multiples raisons.

1. Le système de circulation de l'or dans l'Antiquité tardive était très contrôlé: entre 325 et 610 (de Constantin à Héraclius), avec l'institution des largesses sacrées, la libre circulation de l'or brut n'existait pas à l'intérieur de l'Empire.²¹ Les mines d'or n'étaient pas seulement un monopole de l'état, mais chaque opération de l'extraction à l'émission était très contrôlée: les largesses sacrées veillaient sur les importantes transitions d'or déjà monnayé, notamment les impôts, et non monnayés, comme l'activité des *aurifices* (les orfèvres au palais) qui travaillaient au service de l'empereur, très probablement auprès des ateliers monétaires.²²
2. La pureté de l'or des monnaies était aussi vérifiée avec refonte de l'alliage à partir de 368, grâce à la réforme des Valentinien.²³ La teneur en or autour de 100% permettait d'obtenir des feuilles d'une épaisseur inférieure au micron: l'or pur est en effet plus malléable que l'or allié.²⁴ En outre en travaillant directement les monnaies poids et teneurs en or de la monnaie étaient connus et, par conséquent, le nombre de feuilles qu'on peut en tirer. Le processus était donc plus facile à contrôler. Pour cette raison dans les livres des recettes²⁵ on trouve l'indication du nombre de feuilles qu'on peut tirer d'une monnaie.
3. Les recettes sur la technique de réalisation des feuilles, même si bien plus tardives, indiquent les monnaies ou l'or monétaire comme source de l'or pour fabriquer les monnaies. Les *Compositiones lucenses* (un ensemble des recettes d'origine hellénistique copié à Lucques au VIIIe siècle) mentionnent aussi la production des feuilles et leur emploi dans la mosaïque. La recette de fabrication de la feuille fait des allusions à l'interaction entre feuille d'or et frappe de monnaies, dans l'indication des poids en monnaies et dans le processus de fabrication. Cennino Cennini (XVe siècle) et l'Encyclopédie, précisent que les feuilles sont tirées des monnaies ou de l'or qui sort de l'atelier monétaire.²⁶

(19) Ces groupes se précisent de plus en plus grâce aux analyses isotopiques et témoignent des lieux d'approvisionnement du verre brut à partir desquels les tesselles sont réalisées (Freestone 2005). Schibille 2011 propose de reconnaître un nouveau groupe produit en Asie Mineure, confirmé par Reheren *et al.* 2016 et Tite *et al.* 2016 (20) Freestone/Hughes/Stapleton 2008 ont mis en évidence l'utilisation des cendres potassiques à partir du VIIe siècle; les auteurs font l'hypothèse que, dans un premier temps, on ajoute des cendres potassiques à un mélange vitrifiable de type *natron*. Des contaminations des cendres, marqueurs du recyclage, ont été supposées dans la Méditerranée orientale par Schibille *et al.* 2012. Pour l'état de la question sur les compositions mixtes entre Antiquité tardive et haut Moyen Âge voir Verità/Uboldi 2003; Verità 2012; Motteau/Velde 2013. (21) Delmaire 1989; Carlà 2009; Guest 2005; Johns 2011. Dans ce scénario historique l'hypothèse de l'utilisation de l'or natif extrait de mines ne semble pas vraisemblable au niveau historique pour cette chronologie, au moins de supposer des industries de l'état. (22) Delmaire 1989, 487-494. L'or monnayé

Tableau 1
Les sources sur la réutilisation des tesselles, pillées dans les bâtiments anciens.

Période	Zone géographique	Informations sur la réutilisation des tesselles	Sources primaires (sélectionnées)	Sources secondaires
Antiquité Tardive	Empire d'Occident	Autorisation à démolir et utiliser les décorations sous permission de l'Empereur	C. Th. XV, 1, 37 and C. Just. VIII, 11, 13	Janvier 1969
	Empire d'Orient		C. Th. XV, 1, 40 and C. Just. VIII, 11, 15	
Haut Moyen-Âge	Occident	Charlemagne demande au pape la permission de transférer des mosaïques des parois et des sols de Ravenne à Aix la Chapelle Pillage des tesselles des anciens bâtiments romains pour réaliser des vitraux bleu (11th c.) Recyclage des tesselles pour produire des émaux (Xes.-XIIe s.)	PL 98 c. 371, <i>Epistola</i> 82 Theophilus, <i>DDA</i> , II, 12 Suger, <i>Liber de Rebus in Administratione sua Gestis</i> Eraclius, <i>De coloribus et artibus romanorum</i> , II, 15 Theophilus, <i>DDA</i> , III, 54	Neri 2012
	Empire byzantine	Basilius I (881-886) réutilisation des tesselles de l'église des Apôtres pour décorer la <i>néa ekklesia</i> Manuel I (1143-1180) envoi des tesselles déjà coupées (re-utilisées) et un artisan à Bethlehem	Simeon Magister, <i>Annales</i> , 691, 22 Georgius Monachus, <i>Vita recentiorum imperatorum</i> , 843, 13 Nicetas Choniates, <i>Historia</i> , 48-52	Frolov 1951
	Empire omeyyade et abbasside	L'empereur de Byzance envoi des tesselles et des artisans pour réaliser la décoration des mosquées de Damas, La Mecque, Médine et Cordoue ; pour la mosquée de Medina la source explicite que l'empereur ordonne de chercher les tesselles dans les bâtiments anciens abandonnés	<i>Bibliotheca Geographorum arabicorum</i> , III, 159, II, 1994, 1232-1233 <i>Géographie d'Edrisi</i> , Paris 1860, II, 60.	Gibb 1958 Gautier Van Berchem 1969 Bakirtzis 2011 Neri 2012

Un premier travail expérimental : les feuilles d'or des tesselles de Milan, Rome, Ravenne

Pour connaître la source de l'or des feuilles des tesselles et vérifier l'hypothèse de l'utilisation des monnaies ou de l'or monétaire, environ 50 tesselles italiennes, datées entre le IV^e et le IX^e siècle ont été analysé avec SEM-EDS en collaboration avec M. Verità.²⁷

Les tesselles proviennent des décorations pariétales de Rome et de Ravenne datées grâce aux *tituli* et aux épigraphes dédicatoires sur les mosaïques elles-mêmes, grâce au contexte archéologique ou grâce aux sources qui mentionnent la dédicace de l'édifice à la fin du chantier. Les sites de Milan ont une datation moins fiable à cause du contexte archéologique de prélèvement.

Un exemple peut éclaircir la méthodologie employée. L'édifice situé en dehors de Porta Marina à Ostie a une décoration en *opus sectile* et mosaïque bien datée entre 383 et 388 grâce à une monnaie de Magnus Maximus trouvée dans le mortier de préparation. Le pourcentage en or retrouvé dans les tesselles analysées est comparable à celle des monnaies suivantes la réforme des Valentinien, en particulier celles du règne de Gratien (378-383) (tableau 2).

Les analyses effectuées et leur comparaison avec celles des monnaies ont démontré une corrélation stricte entre les compositions des feuilles et celles des monnaies :

1. L'alliage des feuilles de tesselles et celui des monnaies correspondent.
2. Le rapport cuivre-argent des feuilles est équivalent à celui des monnaies et il se diversifie par rapport à celui d'autres ors en circulation (bijoux et vaisselle).
3. les teneurs en or des feuilles ne sont pas seulement comparables à celles des monnaies, mais varient dans les mêmes intervalles chronologiques (fig. 4), bien qu'il soit nécessaire de prendre en compte le temps de circulation de la monnaie, qui est variable selon l'époque. Il était d'environ 30 ans au IV-V^e siècle²⁸, mais pouvait durer un siècle au VI^e siècle.²⁹

La corrélation entre or monétaire et feuilles de tesselles amène d'importantes conséquences non seulement économiques, parce qu'elle est le reflet d'une organisation centralisée et contrôlée, mais aussi sur l'identification des tesselles de remploi et de nouvelle production et sur la datation de la technique du verre. Des exemples peuvent l'éclaircir.

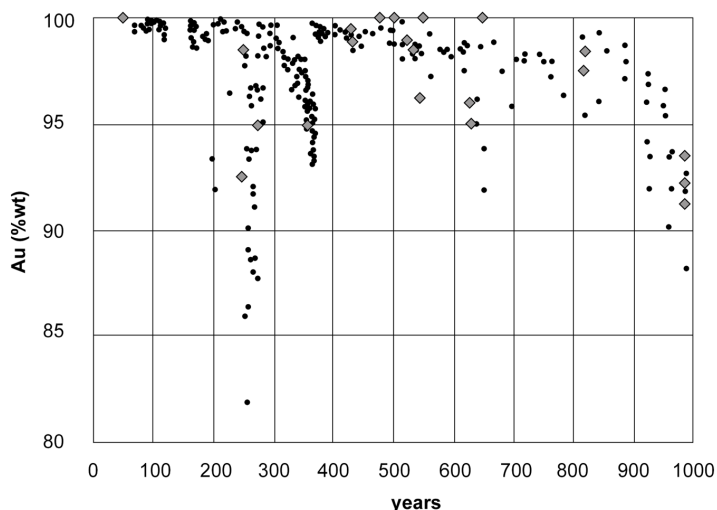
1. La mosaïque de la contre-façade de l'église de Ste Sabine à Rome présente une inscription dédicatoire en mosaïque avec nom du commanditaire, Pierre d'Illyrie (422-432). La décoration a été datée grâce à des comparaisons stylistiques avec les autres mosaïques de l'époque de Sixte III

et non monnayé avaient une valeur équivalent dans les échanges: Carlà 2009, 74 et ss.; cela est aussi déclaré par Greg. Nyss., *Quod non sint tres dii*, PG 45, col.132. (23) A partir de cette date les analyses archéométriques sur les monnaies ont démontré qu'on retrouve un pourcentage en argent inférieur à 1%. Des variations des teneurs d'or ont été repérées en raison du temps et des réformes monétaires aussi pour les précédents périodes (Morrisson *et al.* 1985). (24) Sur la malléabilité de l'or pur voir Plinie, NH, 23,11. Pour la fabrication de la feuille et les teneurs en or utilisées voir Pacheco 2007; Darque-Ceretti/Aucouturier 2012. (25) Manoscritto di Lucca, 124r, 7, ch. *De petala aurea*. (26) Manoscritto di Lucca, 124r, 7; Cennino Cennini, *Libro dell'arte*, ch. 39; Enciclopedia, s.v. *Or*. (27) Pour la technique mise en œuvre voir Conventi *et al.* 2013. Pour la discussion des résultats Neri/Verità 2013. (28) Callu 2010. (29) Morrisson 2002.

Tableau 2
Composition du verre et des feuilles d'or de tesselles de Ostie, Rome, Ravenne (Neri-Verità 2013) avec interprétation de la typologie du verre (N1=verre au natron avec antimoine, N2=verre au natron HIMT, N1*= verre au natron avec antimoine probablement recyclé-absence de corrélation avec MnO, C=verre à cendres sodiques), corrélation avec les monnaies d'or et interprétation sur la production de la tesselle.

Site	Datation	Echantillon	Composition du verre																Composition or			Composition	Datation	Interpretation
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	Cl	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	Sb ₂ O ₃	Group	Au	Ag	Au	Ag				
Ostie, Porte Marine	383-389	PM.11(s)	67.2	1.95	21.2	0.45	6.10	0.79	0.30	0.04	1.05	0.06	0.40	0.06		0.40	N2	99.5	0.5	99.5	0.5	378-383	Nouvelle production	
	383-390	PM.2(sc)	68.5	2.55	16.8	0.50	8.30	0.64	0.22	0.07	0.90	0.05	0.33	1.05			N2	99.0	1.0	99.0	0.9	378-383	Nouvelle production	
	383-391	PM.1A(s)	67.0	2.30	20.4	0.43	5.90	0.88	0.32	0.05	1.15	0.12	0.58	0.75	0.12		N2	99.5	0.5	99.5	0.5	378-383	Nouvelle production	
Rome, Ste. Sabine	422-440	SA.E(sc)	68.8	2.05	19.0	0.44	5.80	1.00	0.22	0.12	1.15	0.08	0.57	0.33	0.20		N1	99.5	0.5	99.4	0.7	347-491	Nouvelle production	
	422-442	SA.D(sc)	67.4	1.84	19.9	0.43	6.71	0.74	0.29	0.14	1.15	0.08	0.53	0.61	0.20		N1	99.5	0.5	99.4	0.7	347-491	Nouvelle production	
	422-443	SA.F(sc)	69.1	2.89	15.8	0.61	7.90	0.89	0.16	0.21	0.89	0.06	0.52	0.93			N2	99.5	0.5	99.4	0.7	347-491	Nouvelle production	
	422-441	SA.G(sc)	68.7	2.11	19.6	0.64	5.88	0.54	0.28	0.16	1.08	0.05	0.39	0.13	0.42		N1	92.5	7.5	92.5	6.3	214-275	Remploi	
Ravenne, St. Vital	527-550	SV.V5(s)*	68.2	2.30	14.7	2.00	7.30	1.75	0.20	0.30	0.90	0.15	0.80	1.05	0.20		N1	93.5	6.5	93.0	6.1	214-275/913-1055	Remploi/ Restauration	
	527-552	SV.G4(sc)	68.5	2.30	18.9	0.45	6.25	0.75	0.30	0.10	1.10	0.11	0.68	0.50			C	91.2	8.8	91.0	8.0	913-1055	Restauration	
	527-554	SV.G8(sc)	68.7	1.95	20.0	0.30	6.05	0.50	0.38	0.10	1.10	0.07	0.45	0.30	0.30		N2	92.2	7.8	92.9	6.3	214-275/913-1055	Remploi	
	527-553	SV.G7(sc)	66.2	2.15	19.0	0.55	8.10	0.90	0.45	0.18	0.80	0.11	0.68	0.85			N2	99.0	1.0	99.1	0.8	518-527	Nouvelle production	
Rome, Ste Cécile	817-824	CEC.O1(s)	66.5	2.15	20.5	0.42	6.30	0.63	0.20	0.07	1.55	0.11	0.55	0.98			N2	99.5	0.50	99.5	0.5	378-383	Remploi	
	817-825	CEC.O1(c)	68.3	1.90	20.6	0.28	5.30	0.55	0.16	0.04	1.55	0.08	0.32	0.82			N2	99.5	0.50	99.5	0.5	378-383	Remploi	
	817-826	CEC.H(s)	70.3	2.10	16.5	0.28	5.60	0.70	0.20	0.05	0.80	0.20	1.20	2.00	0.07		N1*	99.0	1.0	99.1	0.9	347-395	Remploi	
	817-827	CEC. O2(sc)	69.6	2.35	16.6	0.35	5.95	0.73	0.10	0.02	1.25	0.26	1.00	1.80			N2	97.5	2.5	97.7	2.2	717-912	Nouvelle production	

Fig. 4
Graphique de corrélation entre teneurs en or des monnaies (cercles) et des tesselles (losanges) versus ans (après J.C.), (publié en Neri/Verità 2013; les données relatives aux monnaies sont tirées Oddy 1988; Grierson/Blackburn 1986; Morrisson *et al.* 1985; Guest 2005; Blet-Lemarquand *et al.* 2010; Bartlett *et al.* 2011; Gondonneau/Guerra 2002; Johns 2011).



(432-440). La teneur en or des feuilles analysées est comparable à celle des monnaies de cette fourchette chronologique pour trois tesselles, la quatrième a un pourcentage en or comparable à celui des monnaies du IIIe siècle; elle pourrait être une tesselle remployée. Cela pourrait être confirmé par la composition du verre bien décoloré avec antimoine (tableau 2).

2. L'inscription dédicatoire de l'église de Ste Cécile explique que la mosaïque a été réalisée par le pape Pascal en 824. Une feuille d'une tesselle pourrait avoir les mêmes pourcentages d'or que des monnaies de la fin du VIIIe siècle produites dans l'atelier monétaire de Constantinople, ou des ateliers italiens.³⁰ Trois tesselles ont un pourcentage en or comparable aux monnaies de la période entre Valentinien et Zénon (tableau 2).

La corrélation entre or monétaire et or des feuilles permet de reconnaître des restaurations haut-médiévales sur des mosaïques paléochrétiennes. Dans l'église de St. Vital à Ravenne on a reconnu une tesselle réalisée en verre avec cendres sodiques (technique attestée surtout après le VIIIe siècle) et un pourcentage d'or comparable à celui des monnaies du Xe siècle; on constate qu'il y a eu probablement une restauration au Xe siècle. Cela témoigne de l'entretien des mosaïques paléochrétiennes pendant le haut Moyen Âge. Pour restaurer les mosaïques il était nécessaire de produire des

nouveaux matériaux et de garder le savoir-faire nécessaire pour les mettre en œuvre, comme reconnu dans d'autres sites de l'Italie du Nord.³¹

Présentation préliminaire de trois cas d'étude

Dans le cadre du projet Charisma AGLAOS (Analysis of ancient gold leafs and coins), une centaine des tesselles (verre et feuilles) ont été analysées au C2RMF (Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France) avec l'accélérateur AGLAE, utilisant la technique du PIXE/PIGE.³² Une publication partielle des données analytiques est actuellement disponible;³³ seulement quelques anticipations préliminaires sont ici offertes sur trois sites.

Hiéropolis (Turquie), église de St. Philippe

Environ 600 fragments de mosaïque pariétale et de nombreuses tesselles en vrac ont été retrouvés dans les remblais de l'église de St Philippe, bâtie sur le lieu de la sépulture de l'Apôtre sur la colline du *martyrion*.³⁴ L'église a été édifiée au cours du VIe siècle sur le lieu d'une précédente *memoria* et est restaurée au cours du IXe siècle. Au XIe siècle, les Seljukides installent des habitations dans l'édifice. Les fragments des mosaïques sont attribuables à un cycle figuré (fig. 5) qui intéressait la décoration du narthex et d'une chapelle à côté de la tombe.³⁵ Le contexte archéologique ne permet pas de préciser la datation la mosaïque, qui peut être attribuée aux deux principales phases constructives de l'église, datées VIe s. et IXes.

Quatre types des tesselles à feuilles d'or sont documentés : bien décolorées, légèrement colorées en jaune, colorées en vert et en brun et violet. Le nombre remarquable de bords de galettes témoignent que les tesselles ont été probablement coupées sur place. La couverture repliée sur le support et l'argile sur l'arrière illustrent la technique de fixage des trois couches : le verre du support était coulé sur l'argile. Ensuite, on posait la feuille et la couverture. Enfin, on réchauffait et la couverture se reposait sur le support³⁶ (fig. 6).

Les analyses sur le verre ont permis de reconnaître, grâce aux teneurs en K₂O et MgO, deux types de verre sodique pour produire les tesselles (fig. 7) : l'un emploie, comme fondent, le *natron*, l'autre les cendres sodiques. Les différentes colorations sont dues au rapport entre Fe₂O₃ et MnO. Ces éléments sont bien corrélés dans les tesselles incolores, tandis que dans les tesselles colorées en vert, on trouve une teneur en fer Fe₂O₃ entre 1.10 et 1.38% et dans les tesselles colorées en violet-brun une teneur MnO autour de 2.90% (fig. 8).

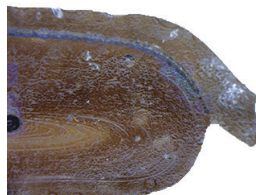
(30) Oddy 1988. (31) Des restaurations médiévales attestées grâce aux analyses archéométriques ont été documentées sur les mosaïques paléochrétiennes de Padoue (Ste. Justine) (Silvestri *et al.* 2012) et dans plusieurs contextes à Milan (Neri in prep.). (32) Pour les conditions analytiques du verre voir Biron/Beauchoux 2003 et pour l'or Guerra 2004; pour le traitement des données Pichon *et al.* 2010. (33) Neri *et al.* 2016. (34) L'étude de ce dossier est menée au sein de la Mission archéologique italienne, sous la direction de F. D'Andria (Università di Lecce). (35) Pour le contexte archéologique voir D'Andria 2013; pour une première étude de la mosaïque voir Neri in prep. (36) Neri/Verità 2013a.



Fig. 5
Hiérapolis, église de St. Philippe.
Fragments d'un nimbe et restitution
proposée.



Fig. 6
Hiérapolis, coupe et arrière de
bord de galette.



Pour les feuilles d'or deux groupes ont été reconnus : le premier présente les mêmes alliages des monnaies produites à Byzance entre l'empereur Anastase et Justinien I (518-565), le deuxième a une seule tesselle avec un alliage qui pourrait correspondre aux monnaies de la fin du règne de Justinien I ou à des monnaies produites entre Héraclius et Nicéphore (610-811) (fig. 9).

A partir de ces données deux interprétations de datation peuvent être proposées :

1. La mosaïque est réalisée au VI^e siècle, pendant la première phase de construction de l'église; après le VIII^e siècle, probablement pendant la restauration du IX^e siècle, il y a eu une intervention sur la mosaïque.

- La mosaïque a été mise en œuvre après le VIII^e siècle en utilisant en grande partie des matériaux de remploi.

Damas, Grande mosquée des Omeyyades

Un lot de tesselles et des fragments (fig. 10) de mosaïques qui proviennent de la Grande Mosquée des Omeyyades, dont la décoration est accomplie en 706, est conservé dans les réserves du Musée du Louvre Département d'Arts Islamiques.³⁷

Différentes sources arabes, dont les plus anciennes remontent au Xe siècle, prétendent que les tesselles des mosquées de Médine, la Mecque et Jérusalem ont été offertes par l'empereur de Byzance et en partie recherchées dans les bâtiments en ruine. Kitab al Dahari (+1295) soutient cela aussi pour Damas : «Lorsque le calife Al Walid décida de construire la mosquée de Damas, le roi de Rum lui fit cadeau de cent *mithqal* d'or, de 40 charges de mosaïque et de mille ouvriers qui furent employés chez lui».³⁸

Six types de tesselles à feuille d'or ont été reconnus pour la couleur du support.

Les tesselles analysées sont toutes produites en verre au natron (fig. 7), reconnu en littérature comme Levantine I (CaO entre 8-12%; Al₂O₃ 2,30-3,10%). Cela soulignerait une provenance palestinienne du verre brut, produit entre VI^e et VII^e siècle. Toutefois, la plupart des tesselles sont produites à partir de verre recyclé: la présence des traces de cuivre, non concordant avec un verre transparent, et d'antimoine permettent d'avancer l'hypothèse de la refonte des déchets de verre et de verre coloré (traces de Sb₂O₃ et CuO -0,06-0,02%- probablement allié à SnO₂ -0,05-0,004%- et PbO -0,2-0,015%).

Le rapport entre Fe₂O₃ et MnO montre que les tesselles sont décolorées avec l'introduction de manganèse (corrélation entre les éléments) ou colorées avec l'introduction du manganèse (MnO 2,9-6 %) (fig. 8).

Les 8 feuilles analysées ont 3 alliages différents (fig. 9):

- Le premier est similaire à celui des monnaies tardo-romaines jusqu'au règne de Justin I (368-527).
- Le deuxième correspond à celui des monnaies byzantines entre le VI^e-VIII^e siècle (610-811) et des monnaies arabo-byzantines proto-islamiques qui imitent les monnaies byzantines au VIII^e siècle
- Le troisième n'a pas de correspondance avec les alliages monétaires et ne présente pas de platine en trace.³⁹

Les tesselles sont en partie remployées et en partie produites *ex novo* à partir de l'or monétaire des monnaies plus anciennes ou des monnaies arabes et byzantines contemporaines. Certaines de celles produites *ex novo* sont réalisées à partir d'un verre probablement obtenu du recyclage. Aucun élément ne permet de prouver une provenance byzantine des tesselles, comme les sources suggèrent.

Fig. 7

Graphique de corrélation K₂O et MgO des tesselles analysées de Hiérapolis, Damas et Aix-la Chapelle.

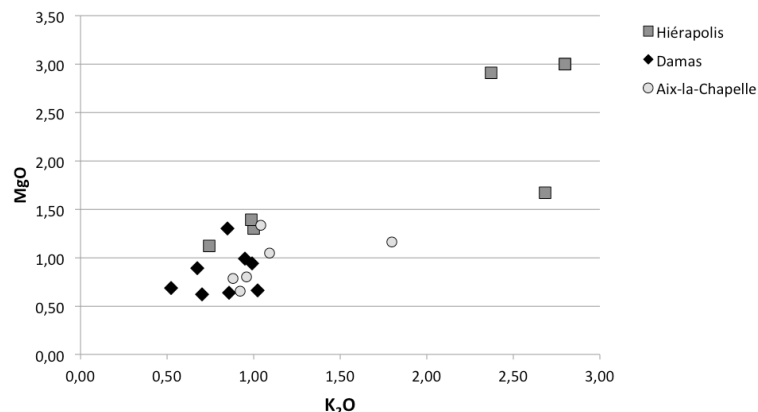


Fig. 8

Graphique de corrélation entre Fe₂O₃ et MnO des tesselles analysées de Hiérapolis, Damas et Aix-la Chapelle.

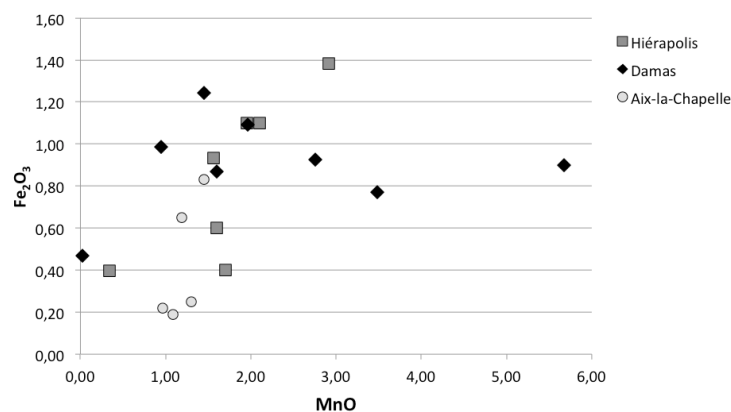
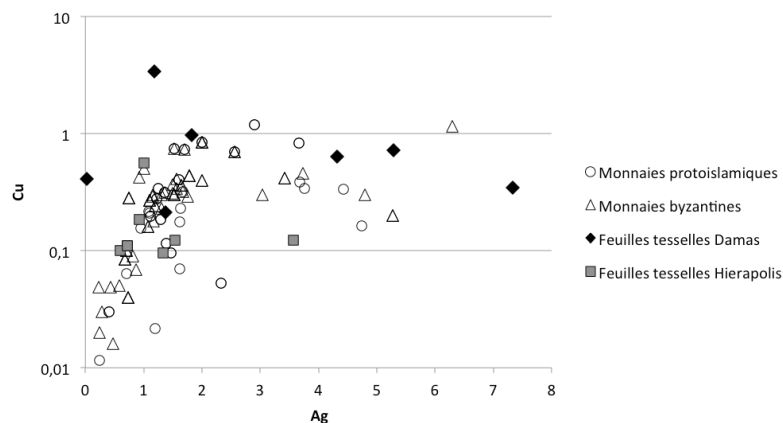


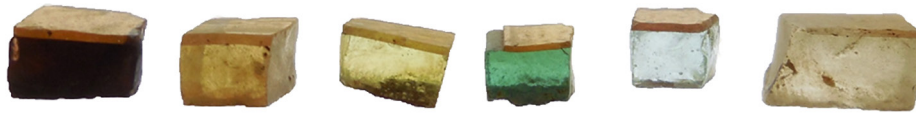
Fig. 9

Graphique de corrélation entre Cu et Ag des feuilles des tesselles de Hiérapolis et Damas, comparées avec les teneurs des monnaies protobyzantines et protoislamiques (les données relatives aux monnaies sont tirées des références citées à la fig. 4).



(37) McKenzie 2013 avec références pour le contexte. (38) BAG, III, 158. (39) L'absence du Pt a été détectée à travers Sy-XRF grâce aux analyses menées au synchrotron à Berlin par M. Guerra.

Fig. 10
Tesselles et fragments de la grande mosquée de Damas,
conservés dans les réserves du Musée du Louvre.



Aix-la-Chapelle

Les six tesselles analysées font partie d'un ensemble de plusieurs tesselles qui étaient en place dans la mosaïque carolingienne de la fin du VIII^e siècle, probablement prélevées avant la restauration de Salviati. Elles sont actuellement conservées dans les réserves du Musée d'Aix-la-Chapelle.⁽⁴⁰⁾

Une lettre du pape à l'empereur témoigne que Charlemagne s'empara des mosaïques du palais de Théodoric de Ravenne, avec l'autorisation du pape Adrien I^{er}, pour décorer le complexe d'Aix-la-Chapelle.⁽⁴¹⁾

L'aspect macroscopique des tesselles est fort différent de celles byzantines et celles de Ravenne: les dimensions du support et de la couverte, l'épaisseur et le travail de la feuille sont importantes dans les tesselles d'Aix (tableau 3). Deux typologies de verre de support sont reconnues: l'une rouge opaque, l'autre transparent bleu-vert (fig. 11). Certaines tesselles de ce dernier groupe présentent des nombreuses bulles et des inclusions rouges de cuprite. L'interphase entre support et feuille de certaines tesselles

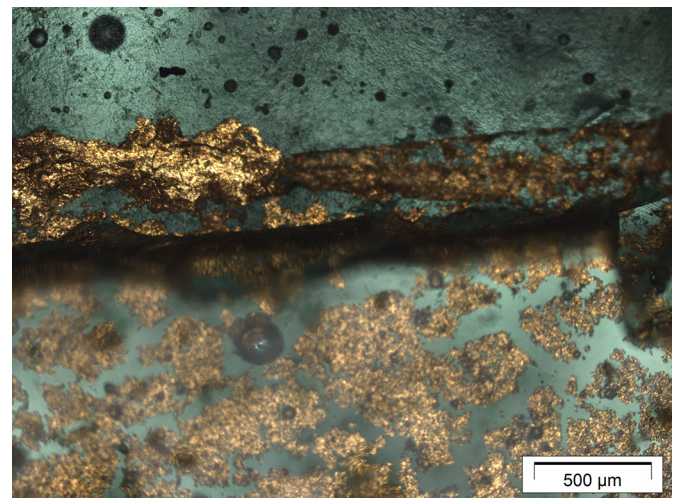
présente des particules rondes de chaux (CaO 54.5% SiO_2 42.9% MgO 2.5%), non reconnues jusqu'à maintenant dans d'autres sites.

Les analyses effectuées ont démontré que les tesselles sont réalisées à partir d'un verre au *natron*, à l'exception de celle en verre rouge qui est en verre à cendre sodique (fig. 7). Pour des raisons techniques le verre rouge est souvent même à l'époque romaine produit à partir d'un verre avec fondant à base de cendres sodiques.⁽⁴²⁾

Le verre transparent est probablement obtenu du recyclage des déchets; des traces du cobalt allié à l'arsénique (CoO 0.01- As_2O_5 0.01%) témoignent du recyclage du verre coloré en bleu non cohérent à un verre transparent, des traces d'antimoine non corrélées au manganèse pourrait attester du recyclage des objets en verre transparent décoloré avec de l'antimoine. La présence du cuivre (CuO 0.25-0.85%) allié à l'étain (0.24-0.25%) et au zinc (0.03-0.04%) pourrait être un résidu de la fusion d'un verre coloré avec des déchets métalliques d'alliage cuivreux ou attester l'introduction dans la matrice vitreuse d'un élément métallique pour colorer le verre.⁽⁴³⁾

Les feuilles d'or sont en or pur (Au 99.98-100%) et sans trace de platine, marqueur des ors byzantins;⁽⁴⁴⁾ aucune relation n'est proposée avec les monnaies d'or byzantines contemporaines.

Fig. 11
Micrographie d'une tesselle à feuille d'or d'Aix-la-Chapelle.



(40) Pour le contexte Grietz/Ristow 2013 et Ristow *infra*. (41) PL 98 c. 371, Epistola 82. (42) Freestone/Stapleton/Rigby 2003; Barber *et al.* 2009. (43) Par rapport aux tesselles de Damas où on trouve des traces de cuivre on signale ici la présence plus consistante de cuivre et l'utilisation d'un alliage cuivreux avec des traces de zinc (probablement du laiton) typique de l'Europe du nord et du monde arabe; dans les tesselles de Damas on trouve l'utilisation des déchets métallurgiques en alliage cuivreux avec plomb, typique du monde byzantin. (44) L'absence du Pt a été détectée à travers Sy-XRF grâce aux analyses menées au synchrotron à Berlin par M. Guerra et

Il s'agit des tesselles produites *ex novo* avec du verre au *natron*, probablement obtenu en partie du recyclage des déchets, et des feuilles dont on ne connaît pas le lieu de production. On peut cependant exclure l'empire byzantin : l'absence du platine rapproche cet or de ceux wisigothiques ou de ceux islamiques.⁴⁵ D'autre part, des ambassades et bien d'autres contacts mettaient en relation l'empire carolingien et le califat omeyyade :⁴⁶ monnaies et produits de luxe parcouraient ces circuits peut-être aussi avec l'or destiné aux tesselles.

Observations conclusives

A partir du *corpus* d'analyses présentées, des conclusions définitives ne peuvent pas être tirées : l'élargissement de la base statistique des données est nécessaire pour proposer une reconstruction plus vraisemblable de la production et la circulation des tesselles à feuille d'or entre le Ve et le VIIIe siècle. Des observations peuvent toutefois être proposées :

1. Il existe une nouvelle production de tesselles à feuille d'or. L'existence des galettes datées entre le Ve et le XIIe siècle prouve que des demi-produits pour la mosaïque circulaient et que les mosaïstes gardaient les compétences pour les couper. Les lieux de production demeurent inconnus. Par ailleurs la demande spécifique des tesselles à feuille d'or doit augmenter à partir du Ve siècle, parce que les surfaces recouvertes d'or dans les mosaïques sont bien plus larges en occupant en partie le fond de la composition. A côté d'un remploi des tesselles romaines ou de la permanence des techniques romaines au haut Moyen Âge, des nouvelles productions bien caractérisées se distinguent :
 - les tesselles avec support en verre rouge opaque
 - les tesselles en verre transparent avec fondant à cendres sodiques
 - les tesselles qui utilisent des monnaies du Ve au IXe siècle pour en produire les feuilles sur un verre au natron en

italique ou à cendres sodiques, qui peut être obtenu du verre de nouvelle production ou du recyclage des déchets de verre transparent et coloré (des tesselles ?)

2. La corrélation entre feuille d'or et monnaies dans le monde byzantin suggère une organisation de la production centralisée et liée aux ateliers monétaires ou au contrôle de l'Etat. La quantité d'or nécessaire pour fabriquer des feuilles d'or était trop importante pour être ignorée des largesses sacrées. Si l'on considère que pour accomplir les décorations des églises de Ravenne au VIe siècle, environ 2.800 *solidi* ont été utilisés (environ 40 kg d'or).⁴⁷ De plus, comme il a été souligné à maintes reprises, la *Notitia dignitatum*, une liste des rôles des officiers de la fin de l'Empire (Ve siècle), prétend que la production des feuilles et des bijoux est surveillée par les largesses sacrées. La circulation de l'or et le système monétaire semblent rester très contrôlés au cœur de l'Empire, malgré les phénomènes de dévaluation après le VIIe siècle.⁴⁸

Les tesselles d'Aix-la-Chapelle et une des tesselles de Damas sont toutefois produites avec un or qui a une route d'approvisionnement différente par rapport à celle de l'empire byzantin. L'importation des matières premières sur les longues distances n'exclue pas une production plus proche au lieu d'emplacement de la mosaïque, en utilisant du verre obtenu en partie du recyclage des déchets et de l'or ou des monnaies importées.

Remerciements

François Baratte, Maria Guerra, Isabelle Biron, Marco Verità sont remerciés pour avoir commencé avec moi cette recherche dorée; Philippe Colomban pour m'avoir donné la possibilité de la continuer. Francesco D'Andria, Yannick Lintz, Helmut Mainz pour les échantillons.

Tableau 3
Épaisseurs des couches de verre (support et couvert) et de la feuille d'or.

Site	Période	Épaisseur moyen de 10 tesselles		
		support	couverte	feuille
Milan, St. Laurent	5e s.	0.9 cm	0.7 mm	0.4-0.6 μm
Milan, St. Jean	fin 5e-début 6e s.	0.8 cm	0.7 mm	0.3-0.6 μm
Ravenne, St. Vital	6e s.	0.9 cm	0.6 mm	0.2-0.7 μm
Hiéropolis	6es.-9e s.	0.7 cm	0.6 mm	0.4-0.5 μm
Damas	8e s.	0.8 cm	0.55 mm	0.4-0.5 μm
Aix-la-Chapelle	8e s.	1.2 cm	1.2 mm	1.06-4 μm

M. Radtke. (45) Guerra 2008; Guerra 2014. (46) Musca 1963. (47) Les mesures analytiques des feuilles (en moyenne entre 0.4 et 0.2 micron) et la surface occupée par le décor permet d'établir la quantité de *solidi* employée dans les édifices et de la comparer aux indications des sources sur les investissements des commanditaires, en suivant un parcours de recherche initié par M. Mundell Mango (Mango 1992). Les résultats des estimations, qui considèrent la surface du décor, l'épaisseur de la feuille et le poids spécifique de l'or, sont détaillés dans Neri 2016, 128-134. Pour Ravenne en particulier tab. 8 et 9. (48) Morrisson 2002.